

На правах рукописи

**АБД НУР АББАС АБДАЛХУССЕЙН АБД НУР**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ  
НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО РАСТВОРА ДЛЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА В СУХОМ ЖАРКОМ КЛИМАТЕ  
(НА ПРИМЕРЕ ИРАКА)**

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в департаменте строительства инженерной академии  
Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН)

Научный руководитель:	Свинцов Александр Петрович доктор технических наук, профессор, профессор департамента строительства инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
Официальные оппоненты:	Римшин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций ФГБОУВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) Давидюк Артем Алексеевич, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Группа КТБ»
Ведущая организация:	ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)

Защита состоится 26 декабря 2022 г. в 12:00 часов на заседании  
диссертационного совета ПДС 2022.009 созданного на базе ФГАОУ ВО  
«Российский университет дружбы народов» по адресу: г. Москва, ул.  
Орджоникидзе, д. 3, ауд. 370

С диссертацией можно ознакомиться в Учебно-научном информационном  
библиотечном центре (Научной библиотеке) РУДН по адресу: 117998, г.  
Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Электронная версия диссертации, автореферат и объявление о защите  
диссертации размещены на официальном сайте Высшей аттестационной  
комиссии при Министерстве образования и науки РФ (<http://vak.ed.gov.ru/>) и  
на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета ПДС 2022.009  
кандидат технических наук

Маркович А.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования** обусловлена тем, что каменные конструкции, возводимые в условиях сухого жаркого климата, характеризуются относительно низким использованием прочности кирпича при осевом сжатии. Это обусловлено эффектом неполных швов в каменной кладке, возникающих вследствие применения растворяемых смесей, не соответствующих условиям сухого жаркого климата.

Под действием высоких температур окружающей среды (45-50 °С) кирпич разогревается и активно абсорбирует воду из растворной смеси, подвижность и пластичность которой интенсивно снижаются. В результате снижения подвижности растворной смеси укладка кирпича производится на неравномерную растворную постель. Активное снижение подвижности и поперечного расширения растворной смеси приводит к формированию швов различной толщины, которая относительно часто бывает существенно завышенной. Это приводит к снижению сопротивления кирпичной кладки осевому сжатию, так как в результате неравномерной плотности распределения растворной смеси в швах кладки возникают изгибающие и скалывающие напряжения. Неравномерность распределения растворной смеси наблюдается в самом начале ее расстилания на постели, а затем она акцентируется в процессе обжигания кирпичом при кладке версты. На качество кирпичной кладки оказывает влияние упругие свойства растворной смеси. Кроме того, растворы одинаковой марки могут иметь различную поперечную расширяемость, обусловленную подвижностью и пластичностью.

Важность практических задач совершенствования каменных конструкций обуславливает необходимость в производственной оценке технического состояния возводимых каменных конструкций, в выявлении причинно-следственных связей образования различных дефектов и в разработке технических решений по совершенствованию каменных конструкций за счет использования растворяемых смесей, сохраняющих свою подвижность и поперечную расширяемость. Улучшение свойств растворяемых смесей позволяет обеспечить совершенствование каменных конструкций за счет создания равномерно распределенных растворяемых постелей и оптимально заполненных швов.

**Степень разработанности темы.** Анализ монографической и научной периодической литературы по теме диссертации показал, что решению задач совершенствования каменных конструкций посвящены труды Л.И. Онищика, Н.С. Попова, С.А. Власова, Л.Д. Проскурякова, И.П. Прокофьева, С.А. Семенцова, А.А. Шишкина, И.Т. Котова, В.И. Римшина, А.Н. Малаховой, О.М. Донченко, И.А. Дегтева, О.В. Кабанцева, Н.П. Умняковой, А.В. Грановского, Б.К. Джамуева, М.К. Ищука, Ю.С. Григорьева, А.А. Давидюка, А.П. Свинцова, Р.С. Федюка, М.Ш. Саламановой, W. Alaghbari, O. Boko, Perez L. Florez, Nikakhtar A. и др. В опубликованных трудах представлены

результаты исследований, посвященные повышению эффективности возведения и функционирования каменных конструкций. Однако, особенности возведения конструкций из кирпичной кладки в условиях сухого жаркого климата остались вне области теоретических и эмпирических исследований.

**Целью исследования** является получение новых сведений о каменных конструкциях в сухом жарком климате и совершенствование конструкций из кирпичной кладки посредством их укрепления наномодифицированной растворной смесью, композиция которой адаптирована к условиям строительства в сухом жарком климате, а также уточнение теоретических положений для проектирования каменных конструкций на наномодифицированном растворе для строительства в сухом жарком климате.

**Задачи исследования.** Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ источников научно-технической информации, нормативной и методической литературы, связанных с задачей совершенствования конструкций из кирпичной кладки за счет ее укрепления наномодифицированным раствором.

2. Изучены опыт возведения строительных конструкций из кирпичной кладки и научно-методические подходы к технической оценке кирпичной кладки, и на основе результатов анализа разработана методика исследования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

3. Выполнена оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата Ирака.

4. Теоретически обоснована и верифицирована в производственных условиях разработанная вероятностная математическая модель оценки конструкций из кирпичной кладки.

5. Разработана и верифицирована вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций.

6. Исследовано влияние добавок на синергетический эффект разработанного наномодифицированного строительного раствора для совершенствования каменных конструкций за счет обеспечения необходимой его подвижности, удобоукладываемости и живучести, позволяющих существенно улучшить прочностные и деформационные свойства каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

7. Выполнено экспериментальное исследование физико-механических характеристик разработанного наномодифицированного цементно-песчаного строительного раствора.

8. Проведено комплексное исследование прочностных и деформационных характеристик кирпичной кладки на наномодифицированном растворе.

**Научная новизна** результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. На основе аналитического изучения современных источников научно-технической информации и опыта исследования каменных конструкций разработана методика исследования конструкций из кирпичной кладки, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

2. Разработана и защищена патентом РФ композиция наномодифицированного строительного раствора для совершенствования каменных конструкций за счет улучшения адгезии между строительным раствором и кирпичом.

3. Разработана вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций.

4. Разработана эмпирическая математическая модель определения деформаций кладки из кирпича на наномодифицированном растворе в зависимости от напряжения сжатия.

5. Разработано уточнение математической модели определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе.

6. Разработан коэффициент растворной постели, отражающий синергетический эффект от улучшения физико-механических свойств раствора и совокупности работы регулируемой подвижности, сопротивления абсорбции кирпичом свободной воды из растворной смеси, содержащей нано-SiO<sub>2</sub>.

7. Разработано уточнение математической модели расчета прочности кирпичной кладки на сжатие с использованием наномодифицированного раствора применительно к условиям строительства в сухом жарком климате.

**Теоретическая значимость** работы заключается в следующем:

1. Принципы методики исследования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяют составлять обоснованный прогноз и давать объективную формализованную оценку их технического состояния в производственных условиях.

2. Разработанная композиция наномодифицированного строительного раствора позволяет осуществлять проектирование конструкций из кирпичной кладки на растворных смесях для конкретных температурно-влажностных условий окружающей среды в районе строительства в сухом жарком климате.

3. Модель оценки качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяет формировать теоретическое описание условий производства работ и обеспечивать контроль качества каменных конструкций в производственных условиях.

4. Эмпирическая математическая модель определения деформаций кладки из кирпича на наномодифицированном растворе в зависимости от напряжения сжатия позволяет производить расчет каменных конструкций на деформации для условий сухого жаркого климата.

5. Уточненная математическая модель определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе предназначена для расчетов каменных конструкций на деформации при

проектировании.

6. В расчете кладки на прочность на сжатие коэффициент растворной постели позволяет учитывать влияние регулируемой подвижности растворной смеси, сопротивления абсорбции кирпичом свободной воды из не затвердевшего наномодифицированного раствора.

7. Уточненная математическая модель расчета прочности на сжатие кирпичной кладки, выполненной на наномодифицированном растворе, позволяет повысить расчетную точность проектировании применительно к условиям строительства в сухом жарком климате.

8. Выполненная экспериментальная оценка физико-механических характеристик каменной кладки на наномодифицированном растворе позволяет совершенствовать методику проектирования конструкций из кирпичной кладки по второму предельному состоянию

#### **Практическая значимость работы**

1. Разработанная методика исследования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяет решать практические задачи научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области их совершенствования за счет применения наномодифицированного раствора.

2. Выполненная оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяет разрабатывать обоснованные мероприятия по совершенствованию технического состояния строительных конструкций из кирпича.

3. Разработанная и защищенная патентом РФ композиция наномодифицированного строительного раствора предназначена для совершенствования каменных конструкций за счет повышения равномерности распределения постели, снижения абсорбции кирпичом свободной воды из не затвердевшего раствора.

4. Выполненная оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата, и разработанная вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций, позволяют совершенствовать возведение конструкций из кирпича.

5. Определенные для кирпичной кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе начальный модуль упругости  $E_0$ , модуль деформаций  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  могут быть использованы в практике проектирования каменных конструкций при расчетах деформаций с использованием методов теории упругости. Эти характеристики могут быть использованы также при оценке достоверности экспериментального исследования образцов кирпичной кладки.

**Методология и методы исследования.** Исследование выполнено на основе комплексного использования теоретического, эмпирического и

аналитического методов.

Теоретическое исследование позволило сформулировать общее представление о проблеме обеспечения совершенствования каменной кладки в условиях сухого жаркого климата. В рамках теоретического исследования сформулирована гипотеза об оптимизации каменной (кирпичной) кладки с использованием кладочного раствора, характеризующегося улучшенной подвижностью и пластичностью, а также с регулируемым сроком схватывания. Теоретическое исследование позволило выявить основные направления эмпирического и аналитического исследования.

Эмпирическое исследование составило основы сбора, идентификации и систематизации данных о качественных и количественных параметрах каменной кладки и строительного раствора. В процессе эмпирического исследования определены количества и типы возникающих дефектов конструкций из кирпичной кладки, возводимых бригадами каменщиков в сухом жарком климате, выявлены физико-механические, прочностные и деформационные характеристики наномодифицированного строительного раствора и кирпичной кладки.

Аналитическое исследование позволило оценить взаимное влияние причинно-следственных связей на качественные характеристики каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата. На основе аналитического метода обоснована гипотеза о целесообразности модернизации кладочного строительного раствора, повышающего качество каменной кладки при возведении в условиях сухого жаркого климата. Использование аналитического метода исследования позволило определить начальный коэффициент упругости кирпичной кладки на наномодифицированном растворе, коэффициент деформаций и коэффициент Пуассона кирпичной кладки на наномодифицированном растворе.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся:

1. Методика исследования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата.
2. Оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата (на примере Ирака).
3. Композиция наномодифицированного строительного цементно-песчаного раствора для совершенствования каменных конструкций за счет улучшения адгезии между строительным раствором и кирпичом.
4. Вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций.
5. Эмпирическая математическая модель определения деформаций кладки из кирпича на наномодифицированном растворе в зависимости от напряжения сжатия.
6. Уточнение математической модели определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе.

7. Методика определения коэффициента постели из наномодифицированного раствора для каменной кладки.

8. Уточнение математической модели расчета прочности на сжатие кирпичной кладки на наномодифицированном растворе применительно к условиям строительства в сухом жарком климате.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов обеспечена использованием теоретического, эмпирического и аналитического методов исследования, а также численной и экспериментальной верификации разработанных математических моделей и выдвинутых гипотез. Корректное использование статистической обработки данных позволило получить результаты с обеспеченностью не ниже  $\alpha=0,05$ .

Результаты диссертационного исследования представлены на следующих семинарах и научно-технических конференциях:

1. Труды научно-практической конференции «Инженерные исследования – 2019». Москва, 3–5 апреля 2019 г.

2. Труды научно-практической конференции «Инженерные исследования – 2020». Москва, 14–16 октября 2020 г.

3. Международная конференция «Инженерные системы – 2021». Москва, 20–22 октября 2021.

4. Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток, 14-21 января 2020 года.

5. International Conference on Engineering Systems 2020 (ICES 2020) 14-16 October 2020. Moscow, Russia.

**Публикации.** Основные положения диссертации представлены в 12 научных публикациях, включая 1 монографию, 1 учебное пособие, 2 статьи в ведущих рецензируемых журналах из списка РУДН, 2 статьи, включенные в базу Scopus, 1 патент РФ на изобретение, 5 статей в сборниках трудов научно-технических конференций.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 300 наименований и 7 приложений. Содержание диссертации изложено на 242 страницах, включая 45 иллюстраций, 36 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** приведена актуальность диссертационного исследования, степень ее разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В **первой главе** рассмотрены современные достижения в области проектирования, строительства и исследования строительных конструкций из кирпичной кладки. Анализ монографической и периодической литературы

показывает, что при проектировании каменной кладки важно определить соответствующую предельную прочность материала кладки на сжатие. Недостаток знаний о свойствах композитного материала приводит к заниженным оценкам прочности каменной кладки.

Каменная кладка, будучи сложным и неупругим материалом, имеет большие различия в механических свойствах: прочности на сжатие и модуле упругости. Это связано с тем, что кирпичи и строительный раствор, как основные составляющие кладки, делают ее неоднородной и усложняют как экспериментальные, так и численные исследования.

Важным недостатком растворных швов является низкая водоудерживающая способность раствора и низкое сопротивление абсорбции кирпичом свободной воды из не затвердевшего раствора. В публикациях отмечено, что при введении водоудерживающих добавок водоудерживающая способность увеличивается.

Прочность каменной кладки определяется как прочностью кирпича, так и прочностью строительного раствора. В публикациях отмечено, что сопротивлению каменной кладки сжатию важнейшая роль отводится растворной постели. В этой связи, совершенствование конструкции из кирпича наиболее целесообразно осуществлять через улучшение физико-механических характеристик растворной постели.

Математическое моделирование прочности каменных конструкций основано на взаимосвязи прочности кладки с кирпичом и раствором. Для большинства уравнений предписываются только некоторые параметры выполнения, в то время как многие эффекты выполнения не учитываются: прочность на сжатие каменной кладки, характеристики напряженно-деформированного состояния, а также свойства кирпича и строительного раствора.

Для расчета на прочность кладки при сжатии в зарубежной практике наиболее часто используется уравнение, связывающее прочность каменной кладки со средней прочностью на сжатие кирпичных блоков и растворных швов. В России расчетная модель определения прочности каменной кладки основана на формуле Л.И. Онищика и применяется для широкого спектра кладок. Однако, указанная модель не учитывает особенности изменения физико-механических свойств растворной постели в условиях сухого жаркого климата, где под действием высоких температур окружающей среды (45-50 °С) кирпич разогревается и активно абсорбирует воду из не затвердевшей растворной смеси. Это приводит к снижению прочности кирпичной кладки на сжатие.

Анализ литературных источников информации показал, что перечисленные выше аспекты исследованы не в полной мере, а решение поставленных в диссертации задач может дать дополнительный стимул для совершенствования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

Вторая глава посвящена методологии диссертационного исследования. Методологическая схема исследования представлена на рис. 1.

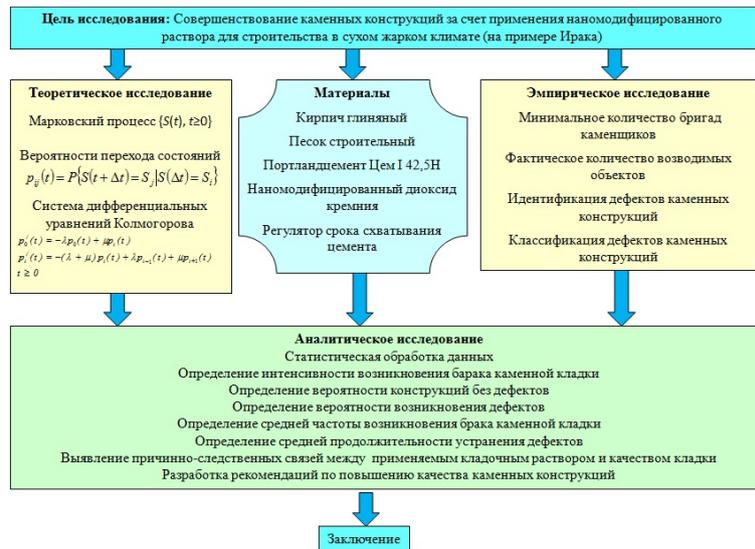


Рис. 1. Методология исследования

Теоретический метод исследования предусматривает рассмотрение возведения зданий из кирпичной кладки как систему, которую можно представить в виде:  $\{S(t), t \geq 0\}$ . Выдвинута гипотеза: различные дефекты  $d_i(t)$  возникают в течение времени  $t$  и образуют совокупность дефектов  $D(t)$ . Типы  $i$  дефектов  $d_i(t)$  варьируют:  $i=0, n$ . Математическое представление гипотезы имеет вид:

$$\exists d_i(t) \in \{D(t), t \geq 0; i = 0, n\} \quad (1)$$

В связи с этим выдвинута гипотеза: возникновение дефектов в каменных конструкциях есть Марковский случайный процесс  $\{D(t), t \geq 0\}$ .

В рамках эмпирического метода выполнено экспериментальное исследование физико-механических характеристик раствора: подвижность; плотность; расслаиваемость; водоудерживающая способность; предел прочности на осевое сжатие.

В исследовании использованы следующие материалы: портландцемент Цем I 42,5Н; песок строительный карьерный с модулем крупности  $M_{кр}=1-1,5$ ; аморфный наномодифицированный диоксид кремния Nano-SiO<sub>2</sub> с размером частиц – 17-90 нм; суперпластификатор (нафталинсульфонат формальдегид (НСФ)); лимонная кислота; смола древесная омыленная; вода для затворения; кирпич клинкерный с размерами 250×120×88 мм, формата 1,4НФ, марки по прочности М150, класса средней плотности 2,0.

Минимальный объем данных определялся на основе метода доверительных интервалов с использованием функции Лапласа:

$$n_i \geq \left( t_\gamma S / \delta \right)^2 \quad (2)$$

где  $n_i$  - количество данных типа  $i$ , за которой ведется наблюдение;  $t_\gamma$  - аргумент функции Лапласа при  $\gamma=0,05$ ;  $S$  - среднее квадратическое отклонение;  $\delta$  - точность оценки.

Статистическая обработка данных выполнена по известным методикам математической статистики. Сравнение полученных статистических выборок выполнено методом ранговой корреляции по критериям Ф. Уилкоксона и Ч. Спирмена. Сравнение расчетных и фактических данных выполнено по критерию Пирсона  $\chi^2$ .

*Аналитический метод исследования* использован для решения следующих задач: статистическая обработка данных; разработка и верификация вероятностных математических моделей; уточнение формулы для определения деформаций кирпичной кладки на наномодифицированном растворе; уточнение модели для расчета прочности кладки на наномодифицированном растворе; определение коэффициента Пуассона, модуля упругости и модуля деформации для каменной кладки на наномодифицированном растворе.

Представленная методология исследования позволила получить результаты с обеспеченностью не ниже  $\gamma=0,05$ .

**В третьей главе** представлены результаты исследования и их обсуждение. Выполнено исследование по оценке качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в сухом жарком климате Ирака (в провинции Аль-Мутанна на юге страны). При укладке на контактную плоскость разогретого на солнце кирпича раствор интенсивно обезвоживается и теряет свою подвижность, что приводит к образованию дефектов. Схема образования и устранения дефектов в строительных конструкциях представлена на рис. 2.

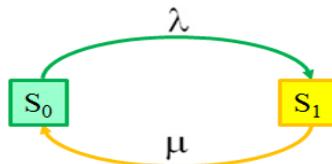


Рис. 2. Граф возникновения и устранения дефектов в кирпичной кладке

При  $i=0$   $S_{i=0}=S_0$ ; при  $i=1$   $S_{i=1}=S_1$ ;  $S_0$  - состояние кирпичной кладки без дефектов;  $S_1$  - состояние кирпичной кладки с дефектами;  $t$  - время возникновения и устранения дефектов;  $\lambda$  - интенсивность возникновения дефектов;  $\mu$  - интенсивность устранения дефектов.

Для оценки кирпичной кладки разработана вероятностная

математическая модель, которая имеет вид:

$$P(t) = f(N; n) \begin{cases} i = 0, n \leq N \\ P(t) = 1; n = 0 \\ P(t) = 0; n = N \end{cases} \quad (3)$$

где  $P(t)$  – вероятность того, что при возведении строительных конструкций за время  $t$  дефекты в конструкциях из кирпичной кладки не возникнут;  $t$  – время, равное продолжительности возведения одного типового этажа;  $n$  – количество дефектов из кирпичной кладки;  $N$  – количество конструкций из кладки в возводимом здании.

После преобразования (3) в систему дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова вероятности нахождения системы  $\{S(t), t \geq 0\}$  в состоянии  $S_0$  и в состоянии  $S_1$ , соответственно, определяются по формуле:

$$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; \quad P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (4)$$

Верификация математической модели показала ее эффективность и возможность использования при совершенствовании каменных конструкций на наномодифицированном растворе для строительства в сухом жарком климате.

Вероятности нахождения каменной конструкции в соответствующих состояниях имеет описание:  $P_0$  – вероятность регулярности обычной работы;  $P_1$  – вероятность отказа и вынужденного простоя;  $P_2$  – вероятность сверхурочной работы для устранения производственных потерь из-за простоя. На основе графа состояний (рис. 3) составлена система дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова, решение которой имеет вид:

$$P_1 = (3\lambda / 2\mu)P_0; \quad P_2 = (\lambda / 2\mu)P_0; \quad P_0 = [1 + (2\lambda / \mu)]^{-1} \quad (5)$$

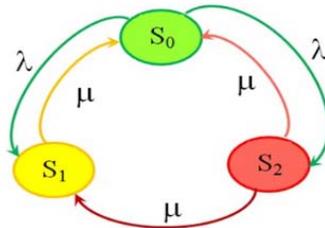


Рис. 3. Граф состояний возводимых каменных конструкций

Возведение каменной конструкции может быть представлено в виде следующих состояний:  $S_0$  - производство работ носит регулярный характер без вынужденных перерывов (сбоев);  $S_1$  - вынужденный перерыв в работе бригады каменщиков;  $S_2$  - организована сверхурочная работа бригады.

Уравнение (5) позволяет найти все вероятности состояний системы

возведения каменной конструкции в предельном стационарном режиме. Верификация математической модели показала ее эффективность и возможность использования при совершенствовании каменных конструкций.

Автором разработан и защищен патентом РФ наномодифицированный строительный раствор, предназначенный для совершенствования каменных конструкций при строительстве в сухом жарком климате с температурой наружного воздуха, достигающей 40-50 °С. Цементно-песчаный раствор содержит портландцемент, песок, воду, аморфный наномодифицированный диоксид кремния  $\text{nano-SiO}_2$ , нафталинсульфонат формальдегид, замедлитель срока схватывания портландцемента, смолу древесную омыленную, лимонную кислоту. Сочетание компонентов и их количества является новым существенным признаком технического решения.

В процессе верификации наномодифицированного раствора определены его физико-механические характеристики, позволившие выявить влияние каждого компонента на общий синергетический эффект в техническом результате.

Экспериментально установлено, что в наномодифицированную добавку целесообразно вводить компоненты (% от массы цемента):  $\text{nano-SiO}_2$  в количестве 0,2%; суперпластификатор нафталиноформальдегид в количестве, не более 0,6%; воздухововлекающую добавку (смолу древесную омыленную) в количестве не более 0,05%; замедлитель срока схватывания (лимонную кислоту) в количестве от 0,1% до 0,15%. Больше количество вводимых компонентов не приводит к заметному улучшению свойств цементно-песчаного раствора.

В целом, исследование цементно-песчаных смесей по разработанному патенту показало эффективность применения в композиции комплексной добавки, позволяющей повысить водоудерживающую способность, подвижность и регулируемый срок схватывания.

Выполнено экспериментальное исследование прочности кирпичной кладки на сжатие. Перед началом экспериментального исследования выполнен предварительный расчет кладки на прочность при сжатии. Расчет выполнен по формуле Л.И. Онищика с учетом указаний СП 15.13330.2020. К исследованию приняты образцы кладки из кирпича марки М125 на базовом и наномодифицированном растворах марки М75 и М100. Иллюстрация показателей прочности образцов кладки на базовом растворе представлена на рис. 4.

Прочность на сжатие образцов кирпичной кладки на растворе марки М75 в среднем на 44,2% ниже расчетных значений. Прочность образцов кирпичной кладки на растворе марки М100 в среднем на 36,3% ниже расчетного значения.

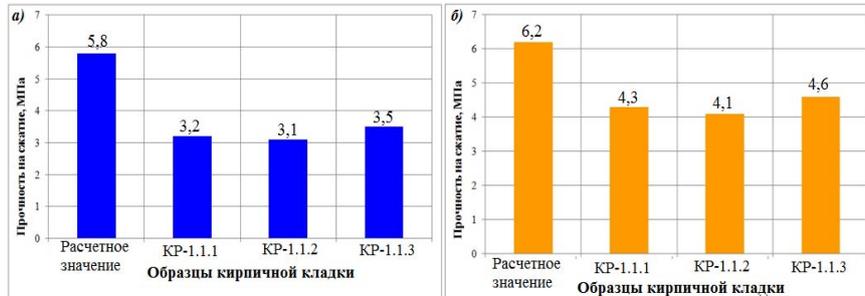


Рис. 4. Гистограмма расчетной и фактической прочности образцов кирпичной кладки на базовом растворе; а) на растворе марки 75; б) на растворе марки М100

Использование наномодифицированного цементно-песчаного раствора позволяет предотвратить чрезмерное его обезвоживание и за счет этого прочность кладки на сжатие увеличивается (рис. 5).

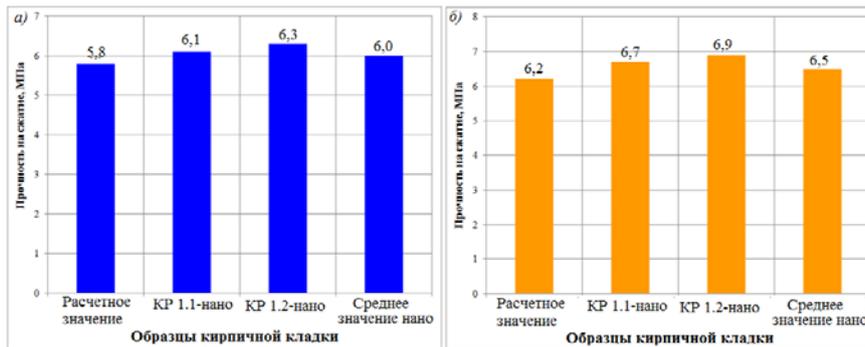


Рис. 5. Гистограмма расчетной и фактической прочности образцов кирпичной кладки на наномодифицированном растворе а) на растворе марки М75; б) на растворе марки М100

Прочность кладки на наномодифицированном растворе выше расчетного значения в среднем на 6,2%. При этом прочность кладки на наномодифицированном растворе в среднем на 40,6% выше прочности кладки на базовом растворе.

Разработан критерий эффективности наномодифицированной растворной постели  $\kappa$ , который определяется по формуле:

$$\kappa = 1 + \frac{\alpha_p - \alpha_p''}{\alpha_p} \times \frac{\rho_p'' - \rho_p}{\rho_p''} \times \frac{R_p'' - R_2}{R_p''} \quad (6)$$

где  $R_p''$  - прочность на сжатие наномодифицированного раствора, МПа;  $R_2$  - прочность на сжатие раствора проектной марки по формуле Л.И. Онищика, МПа;  $\rho_p$  - расчетная подвижность базовой растворной смеси; см;  $\rho_p''$  - расчетная подвижность наномодифицированного раствора;  $\alpha_p$  -

сопротивление абсорбции базовой растворной смеси;  $\alpha_p^H$  - сопротивление абсорбции наномодифицированного раствора.

С учетом влияния указанных факторов для условий сухого жаркого климата уточненная формула Л.И. Онищика имеет вид:

$$R_u = AR_1 \left( 1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2R_1}} \right) \kappa \quad (7)$$

где  $R_u$  – прочность кладки на сжатие, МПа;  $R_1$  – прочность кирпича на осевое сжатие, МПа;  $R_2$  – прочность раствора на осевое сжатие, МПа;  $a, b$  – эмпирические коэффициенты;  $A$  – коэффициент, зависящий от вида и прочности кирпича;  $\kappa$  – коэффициент постели из наномодифицированного раствора.

Одновременно с испытанием образцов кирпичной кладки на сжатие выполнено их исследование на деформативность. На рис. 6 представлены диаграммы изменения относительных поперечных и продольных деформаций образцов кладки на базовом растворе.

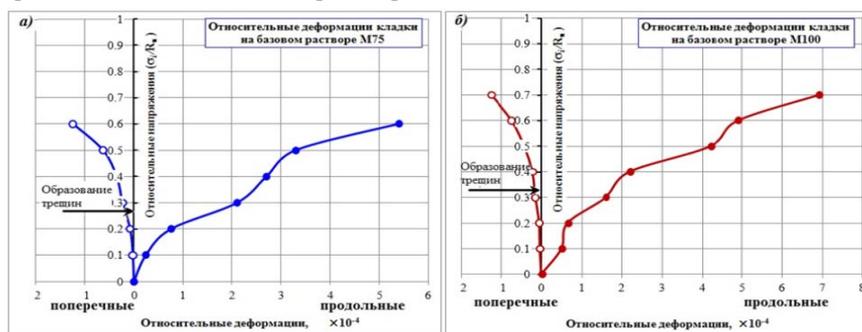


Рис. 6. Изменение относительных деформаций образцов кладки на базовом растворе при осевом сжатии; а) на растворе марки М75; б) на растворе марки М100

На рис. 7 представлены диаграммы изменения относительных поперечных и продольных деформаций образцов кладки на наномодифицированном растворе. Продольные деформации образцов кирпичной кладки на наномодифицированных растворах марки М75 и М100 увеличиваются более интенсивно, чем поперечные деформации. На диаграммах стрелки указывают момент зафиксированного образования трещин и начала их поперченного расширения и раскрытия.

Начальный модуль упругости образцов кирпичной кладки на наномодифицированном растворе М75  $E_0=6133$  МПа, что на 38% выше, чем для кладки на базовом растворе. Начальный модуль упругости образцов кладки на наномодифицированном растворе М100  $E_0=6700$  МПа, что на 40,2% выше, чем для кладки на базовом растворе.

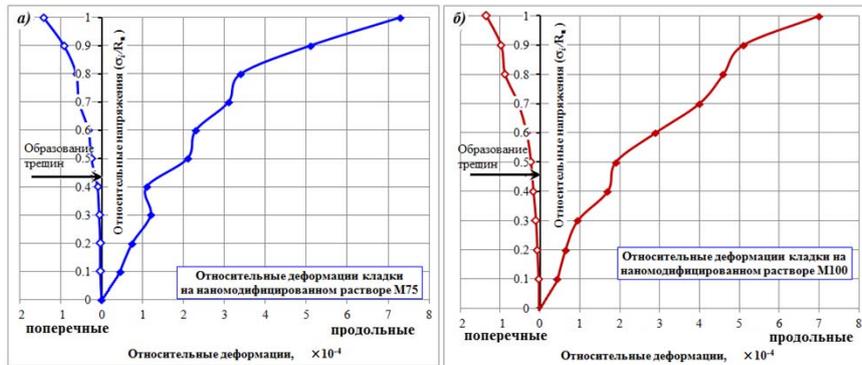


Рис. 7. Изменение относительных деформаций образцов кладки на наномодифицированном растворе при осевом сжатии а) на растворе марки М75; б) на растворе марки М100

Уточнена формула для определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E_0 \left( 1 - \frac{\sigma}{\varepsilon R_u} \right) \quad (8)$$

где  $\sigma$  - фактическое напряжение сжатия, МПа;  $\varepsilon$  - относительная деформация кладки ( $\times 10^{-4}$ );  $E_0$  - модуль упругости кладки на наномодифицированном растворе, МПа;  $R_u$  - прочность кладки на сжатие, МПа.

Определены значения коэффициентов Пуассона для кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе (таблица 1).

Таблица 1.

Коэффициенты Пуассона для образцов кирпичной кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе

Нагрузка $\sigma/R_u$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\nu$ (M75)	0,07	0,04	0,05	0,09	0,12	0,14	0,18	0,18	0,18	0,19
$\nu$ (M100)	0,09	0,11	0,11	0,10	0,12	0,12	0,14	0,19	0,19	0,19

Разработана эмпирическая математическая формула для расчета деформаций:

$$\varepsilon = \xi \sigma_i^2 + \xi \sigma_i \quad (9)$$

где  $\sigma_i$  - напряжение сжатия;  $\xi$  - коэффициент плотности швов из наномодифицированного раствора, для раствора марки М75  $\xi = 0,18$ ; для раствора марки М100  $\xi = 0,125$ .

В результате теоретического и экспериментального исследования получено решение важной научно-технической задачи совершенствования конструкций из кирпичной кладки посредством их укрепления наномодифицированной растворной смесью, композиция которой адаптирована к условиям строительства в сухом жарком климате.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Итоги выполненного исследования

1. На основе аналитического изучения современных источников научно-технической информации и опыта исследования каменных конструкций разработана методика исследования конструкций из кирпичной кладки, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

2. Выполнена оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата Ирака.

3. Разработана вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций.

4. Разработана и защищена патентом РФ композиция наномодифицированного строительного раствора для совершенствования каменных конструкций за счет улучшения взаимодействия с контактной поверхностью кирпича и растворной постели.

5. Определены значения начального модуля упругости  $E_0$  для кирпичной кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе. Начальный модуль упругости кирпичной кладки на наномодифицированном растворе марки М75  $E_0 = 6133$  МПа, что на 38% выше, чем для кладки на базовом растворе. Начальный модуль упругости кирпичной кладки на наномодифицированном растворе марки М100  $E_0 = 6700$  МПа, что на 40,2% выше, чем для кладки на базовом растворе.

6. Определены коэффициенты Пуассона для кирпичной кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе. Коэффициент Пуассона для кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе марки М75 изменяется от 0,07 до 0,19 и в предельном состоянии нагружения сжатия составляет  $\nu = 0,18$ . Коэффициент Пуассона для кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе марки М100 изменяется от 0,09 до 0,19 и в предельном состоянии нагружения сжатия составляет  $\nu = 0,19$ .

7. Разработана эмпирическая математическая модель определения деформаций кладки из кирпича на наномодифицированном растворе в зависимости от напряжения сжатия.

8. Разработано уточнение математической модели определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе.

9. Разработан коэффициент растворной постели  $k$ , отражающий синергетический эффект от улучшения физико-механических свойств раствора и совокупности работы регулируемой подвижности, сопротивления абсорбции кирпичом свободной воды из растворной смеси, содержащей нано-SiO<sub>2</sub>.

10. Разработано уточнение математической модели расчета прочности кирпичной кладки на сжатие с использованием наномодифицированного раствора применительно к условиям строительства в сухом жарком климате.

***Полученные результаты рекомендованы к использованию в научных***

**целях:**

1. Принципы методики исследования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяют составлять обоснованный прогноз и давать объективную формализованную оценку их технического состояния в производственных условиях.

2. Разработанная композиция наномодифицированного строительного раствора позволяет осуществлять проектирование конструкций из кирпичной кладки на растворных смесях для конкретных температурно-влажностных условий окружающей среды в районе строительства в сухом жарком климате.

3. Модель оценки качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяет формировать теоретическое описание условий производства работ и обеспечивать контроль качества каменных конструкций в производственных условиях.

4. Эмпирическая математическая модель определения деформаций кладки из кирпича на наномодифицированном растворе в зависимости от напряжения сжатия позволяет производить расчет каменных конструкций на деформации для условий сухого жаркого климата.

5. Уточненная математическая модель определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе предназначена для расчетов каменных конструкций на деформации при проектировании.

6. В расчете кладки на прочность на сжатие коэффициент растворной постели  $k$  позволяет учитывать влияние регулируемой подвижности растворной смеси, сопротивления абсорбции кирпичом свободной воды из не затвердевшего наномодифицированного раствора.

7. Уточненная математическая модель расчета прочности на сжатие кирпичной кладки, выполненной на наномодифицированном растворе, позволяет повысить расчетную точность проектирования применительно к условиям строительства в сухом жарком климате.

8. Выполненная экспериментальная оценка физико-механических характеристик каменной кладки на наномодифицированном растворе позволяет совершенствовать методику проектирования конструкций из кирпичной кладки по второму предельному состоянию.

***Полученные результаты рекомендованы к использованию для практических целей:***

1. Разработанная методика исследования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата, позволяет решать практические задачи научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области их совершенствования за счет применения наномодифицированного раствора.

2. Выполненная оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого

климата, позволяет разрабатывать обоснованные мероприятия по совершенствованию возведения строительных конструкций из кирпича.

3. Разработанная и защищенная патентом РФ композиция наномодифицированного строительного раствора предназначена для совершенствования каменных конструкций за счет повышения равномерности распределения постели, снижения абсорбции кирпичом свободной воды из не затвердевшего раствора.

4. Выполненная оценка качественных характеристик каменных конструкций малоэтажных зданий, возводимых в условиях сухого жаркого климата, и разработанная вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций, позволяют совершенствовать возведение конструкций из кирпича.

5. Определенные для кирпичной кладки на наномодифицированном цементно-песчаном растворе начальный модуль упругости  $E_0$ , модуль деформаций  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  могут быть использованы в практике проектирования каменных конструкций при расчетах деформаций с использованием методов теории упругости. Эти характеристики могут быть использованы также при оценке достоверности экспериментального исследования образцов кирпичной кладки.

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** Дальнейшее развитие темы диссертационного исследования может быть связано с изучением методологии совершенствования конструкций из кирпича различных типов при использовании новых вариантов наномодифицированных растворов, адаптированных к строительству в сухом жарком климате, а также с совершенствованием методологии проектирования каменных конструкций, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Свинцов А.П., Абд Нур А.А. Влияние наномодифицированного раствора на каменные конструкции для строительства в сухом жарком климате (на примере Ирака): Монография. Москва: РУДН, 2022. 240 с.

2. Свинцов А.П., Абд Нур А.А. Методы решения научно-технических задач в строительстве (طرق حل المشاكل العلمية والتقنية في البناء. موسكو. الصداقة): Учебное пособие (на арабском языке). Москва: РУДН, 2022. 122 с.

3. Свинцов А.П., Абд Нур А.А., Абдель-Сатер Аббас, Сорокин А.Н. Влияние наномодифицированной добавки на подвижность бетонных смесей // Строительные материалы. 2020. № 7. С. 54–59.

4. Свинцов А.П., Абд Нур А.А. Вероятностное моделирование производительности труда при возведении кирпичных зданий таунхаус // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 3. С. 76-92.

5. Svintsov A.P., Abd Noor A.A. Evaluation of the reliability of the erection of brick walls structures of low-rise residential buildings. Asian Journal of Civil Engineering. 23 (2022) 187–201.

6. Патент на изобретение RU № 2759479 С1. Наномодифицированный строительный раствор. Свинцов А.П., Аббас Абдулхусейн Абд Нур, Галишникова В.В. Заявка: 2020126462, 07.08.2020; Опубликовано: 15.11.2021 Бюл. № 32.

7. Svintsov A.P., Abd Noor A.A. Planning of an experimental research of the organization of townhouses' construction. Journal of Physics: Conference Series 1687. IOP Publishing 012016. 2020.

8. Абд Нур А.А. Кластеризация жилых зданий в Ираке (на примере города Эль-Мутанна). «Инженерные системы – 2019» Труды научно-практической конференции. Москва, 3–5 апреля 2019 г. С. 167-173.

9. Абд Нур А.А. Строительные технологические системы кирпичной кладки при возведении таунхаусов. Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток, 14-21 января 2020 года. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2020. С. 60-64.

10. Абд Нур А.А. Планирование экспериментального исследования организации возведения таунхаусов. Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток, 14-21 января 2020 года. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2020. С. 68-71.

11. Абд Нур А.А. Планирование экспериментального исследования кирпичной кладки при возведении малоэтажных зданий. «Инженерные исследования – 2020» Труды научно-практической конференции. Москва, 14–16 октября 2020 г. С. 5-11.

12. Абд Нур А.А. Организация каменной кладки при использовании подъемного оборудования в условиях Ирака «Инженерные исследования – 2021» Труды научно-практической конференции. Москва, 28-30 апреля 2021 г. С. 36-41.

### **АННОТАЦИЯ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Абд Нур Аббас Абдалхусейн Абд Нур**

Совершенствование каменных конструкций за счет применения наномодифицированного раствора для строительства в сухом жарком климате (на примере Ирака)

Каменные конструкции, возводимые в условиях сухого жаркого климата, характеризуются относительно низким использованием прочности кирпича при осевом сжатии. Это обусловлено эффектом неполных швов в каменной кладке, возникающих вследствие применения растворных смесей, не соответствующих условиям сухого жаркого климата.

Под действием высоких температур окружающей среды (45-50 °С) кирпич разогревается и активно абсорбирует воду из растворной смеси, подвижность и пластичность которой интенсивно снижаются. Это приводит к снижению сопротивления кирпичной кладки осевому сжатию, так как в

результате неравномерной плотности распределения растворной смеси в швах кладки возникают изгибающие и скальвающие напряжения. Улучшение свойств растворных смесей позволяет обеспечить совершенствование каменных конструкций за счет создания равномерно распределенных растворных постелей и оптимально заполненных швов.

Целью исследования является получение новых сведений о каменных конструкциях в сухом жарком климате и совершенствование конструкций из кирпичной кладки посредством их укрепления наномодифицированной растворной смесью, композиция которой адаптирована к условиям строительства в сухом жарком климате, а также уточнение теоретических положений для проектирования каменных конструкций на наномодифицированном растворе для строительства в сухом жарком климате.

В диссертации получены результаты, характеризуемые научной новизной и практической значимостью:

Разработана методика исследования конструкций из кирпичной кладки, возводимых в условиях сухого жаркого климата.

Разработана и защищена патентом РФ композиция наномодифицированного строительного раствора для совершенствования каменных конструкций.

Разработана вероятностная модель оценки качества и прочности каменных конструкций.

Разработана эмпирическая математическая модель определения деформаций кладки из кирпича на наномодифицированном растворе.

Уточнена математическая модель определения модуля деформаций  $E$  кладки из кирпича на наномодифицированном растворе.

Разработан коэффициент растворной постели  $\kappa$ , отражающий синергетический эффект от улучшения физико-механических свойств раствора.

Уточнена математическая модель расчета прочности на сжатие кирпичной кладки на наномодифицированном растворе.

Полученные результаты могут быть использованы в проектировании каменных конструкций при расчетах деформаций с использованием методов теории упругости.

#### **ABSTRACT OF THE DISSERTATION**

**Abd Noor Abbas Abdulhussein Abd Noor**

Enhancement of stone structures due to the use of nanomodified mortar for construction in dry hot climates (using the example of Iraq)

Stone structures erected in a dry hot climate are characterized by a relatively low use of brick strength under axial compression. This is due to the effect of incomplete seams in masonry resulting from the use of mortar mixtures that do not meet the conditions of a dry hot climate.

Under the influence of high ambient temperatures (45-50 ° C), the brick heats up and actively absorbs water from the mortar mixture, the mobility and plasticity of which are intensively reduced. This leads to a decrease in the resistance of brickwork to axial compression, since as result of the uneven distribution density of the mortar mixture, bending and chipping stresses occur in the joints of the masonry. Improving the properties of mortar mixtures allows for the enhancement of stone structures by creating evenly distributed mortar beds and optimally filled joints.

The aim of the study is to obtain new information about stone structures in dry hot climates and to enhance brickwork structures by strengthening them with a nanomodified mortar mixture, the composition of which is adapted to construction conditions in dry hot climates. As well as clarification of theoretical provisions for the design of stone structures on nanomodified mortar for construction in dry hot climates.

The results of the dissertation are characterized by scientific novelty and practical significance:

A methodology for the study of brick masonry structures erected in a dry hot climate has been developed.

A composition of nanomodified mortar for improving stone structures has been developed, and protected by a patent of the Russian Federation.

A probabilistic model for assessing the quality and strength of stone structures has been developed.

An empirical mathematical model for determining deformations of brick masonry on nanomodified mortar has been developed.

The mathematical model for determining the modulus of deformations  $E$  of a brick masonry on a nanomodified mortar has been refined.

The coefficient of the mortar bed  $\kappa$  has been developed, reflecting the synergistic effect of improving the physico-mechanical properties of the mortar.

The mathematical model for calculating the compressive strength of brickwork on nanomodified mortar has been refined.

The results obtained can be used in the design of stone structures in the calculation of deformations using methods of elasticity theory.